

การบำบัดน้ำเสียโดยระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในโรงงานเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศไทย

Anaerobic Wastewater Treatment System applied for Sugarcane Molasses Ethanol

Plants in Thailand

ณัฐกรณ์ มะวังนุกูล (Nuttagorn Mawangnutoon)* ไปรยา เฉยไสย (Pairaya Choeisai)**

กะซุอะกิ ซุทซุโบะ (Kazuaki Syutsubo)***

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศไทย โดยทำการเก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์และวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงาน 6 แห่ง ซึ่งใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำเสีย พบว่า ระบบที่นิยมใช้มี 2 แบบ คือ 1) ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 54 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) 3.9 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.ต่อวัน และระยะเวลาพักน้ำเฉลี่ย (HRT) 22 วัน และ 2) ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบบ่อปิด มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 56 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.2 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.ต่อวัน และระยะเวลาพักน้ำเฉลี่ย 41 วัน จากการศึกษาพบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียออกจากระบบยังคงมีค่าสูง โดยมีค่าความเข้มข้นสารอินทรีย์ในรูปชีโอดีทั้งหมดอยู่ในช่วงค่า 42,000 – 84,000 มก./ล.

ABSTRACT

The objective of this study was to observe the treatment efficiency of anaerobic wastewater treatment system using in the sugarcane molasses ethanol production plants in Thailand. The data were collected from 6 plants that applied an anaerobic wastewater treatment systems for wastewater treatment by an interview from the systems controllers and by an analysis of the collected wastewater samples. The results showed that the conventional anaerobic treatment systems are 2 systems: one is a Completely Stirred Tank Reactor (CSTR) and the other is a Modified Covered Lagoon (MCL). The CSTR showed the COD removal around 54 %, with an organic loading rate (OLR) of 3.9 kgCOD/m³-day and hydraulic retention time (HRT) of 22 days on average. In the other side, the MCL showed the COD removal around 56 %, with an OLR of 2.2 kgCOD/m³-day and HRT of 41 days. The residual organic matter in the effluent from the both systems was still high in the range of the COD concentration between 42,000 to 84,000 mg/l.

คำสำคัญ: ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ โรงงานเอทานอลจากกากน้ำตาล ประสิทธิภาพการบำบัด

Keywords: Anaerobic treatment systems, Sugarcane molasses ethanol plants, Treatment efficiency

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** หัวหน้าห้องวิจัยเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมภูมิภาค ศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อมภูมิภาค สถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมแห่งชาติประเทศญี่ปุ่น

บทนำ

ปัจจุบันเอทานอลเป็นพลังงานทดแทนที่มีการผลิตและนำไปใช้ในปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานของกระทรวงพลังงานซึ่งต้องการผลิตให้ได้ 9 ล้านลิตรต่อวันภายในปี พ.ศ.2565 ซึ่งในปัจจุบันกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตเอทานอลคิดเป็น 61.9 % ของกำลังการผลิตเอทานอลทั้งหมด (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2557) จากปริมาณการผลิตเอทานอลที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิด ปริมาณ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมากขึ้นเช่นเดียวกัน

กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีกระบวนการที่สำคัญได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การเจือจาง กระบวนการหมัก กระบวนการกลั่น และกระบวนการแยกน้ำ ซึ่งกระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดน้ำเสียปริมาณมากคือกระบวนการกลั่น น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาลเรียกว่า “น้ำกากส่า” (Vinasses, Slops, Distillery spent wash, Stillage) มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม และปริมาณสารอินทรีย์สูง เช่น ซีโอดี บีโอดี และค่า พีเอช (Wilkie et al., 2000) ปัจจุบัน โรงงานเอทานอลจากกากน้ำตาลได้ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศในการบำบัดน้ำกากส่าโดยการสนับสนุนจากกระทรวงพลังงานในการก่อสร้าง (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2555) เนื่องจากระบบบำบัดไม่ใช้อากาศสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในระดับความเข้มข้นอินทรีย์สูงได้และได้ก๊าซชีวภาพซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทนร้อยละ 60 – 80 สามารถนำมาใช้เพื่อเป็นพลังงานทดแทนได้ (Satyawali, Balakrishnan, 2008) ดังนั้น การศึกษานี้จึงศึกษาถึงสภาพการณ์จริงของการเดินระบบและประสิทธิภาพของการบำบัดของระบบบำบัดไม่ใช้อากาศที่ใช้งานในโรงงานเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศไทย

วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำกากส่าของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศในโรงงานเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศไทยที่เดินระบบใช้จริงในปัจจุบัน

วิธีการวิจัย

โรงงานเอทานอลกรณีตัวอย่างที่เข้าศึกษา

โรงงานเอทานอลจากกากน้ำตาลที่เข้าศึกษาทั้งหมดจำนวน 6 แห่ง (ดังแสดงในตารางที่ 1) โดยเข้าศึกษาและเก็บตัวอย่างน้ำเสียในช่วงเดือนธันวาคม 2557 โดยแต่ละโรงงานมีกำลังการผลิตเอทานอลที่แตกต่างกัน ตั้งอยู่ใน ภาค กลาง และ ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 1 โรงงานเอทานอลจากกากน้ำตาลที่เข้าศึกษา

ภูมิภาคที่ตั้ง	กรณีศึกษา	กำลังผลิต (ลิตร/วัน)
ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ	โรงงาน ก	150,000
	โรงงาน ข	100,000
	โรงงาน ค	130,000
ภาคกลาง	โรงงาน ง	365,000
	โรงงาน จ	120,000
	โรงงาน ฉ	25,000

ประสิทธิภาพของระบบ

ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในโรงงานแต่ละแห่งโดยการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเข้าระบบและน้ำออกของระบบบำบัดไม่ใช้อากาศในโรงงานแต่ละแห่งจากการเข้าเก็บตัวอย่างน้ำเข้าระบบและน้ำออกของระบบของแต่ละโรงงานด้วยการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ครั้งเดียว (Grab sampling) ในช่วงของการเดินระบบบำบัดในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2557 และศึกษารวบรวมข้อมูลการเดินระบบในหัวข้อ การบรรทุกสารอินทรีย์ ระยะเวลาดัก

เก็บน้ำ อุณหภูมิของระบบ จากการสัมภาษณ์ผู้
 ควบคุมดูแลระบบฯ

ในการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างทำการ
 วิเคราะห์ตามวิธีการวิเคราะห์น้ำเสียโดย APHA,
 AWWA and WEF, 2005 และ มั่นสิน คณิตกุลเวศม์
 และม้นรักษ์ คณิตกุลเวศม์, 2551 โดยมีพารามิเตอร์และ
 วิธีวิเคราะห์น้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 วิธีวิเคราะห์น้ำเสีย

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีวิเคราะห์
พีเอช	-	Electrometric Method
อุณหภูมิ	°C	Electrometric Method
ซีโอดี	mg/L	Close Reflux Method
บีโอดี	mg/L	5 days BOD Test (Dilution Method)
ซัลเฟต	mg/L	Powder pillow test
โพแทสเซียม	mg/L	Atomic Absorption Spectroscopy
คลอไรด์	mg/L	Mercuric Method
ของแข็งแขวนลอย	mg/L	Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 C°
ของแข็งระเหย	mg/L	Fixed and Volatile Solids Ignited at 550 C°

ผลการวิจัย

จากการเข้าศึกษาโรงงานเอทานอลจาก
 กากน้ำตาลในประเทศไทย 6 แห่งพบว่ามีการใช้ระบบ
 บำบัดแบบไม่ใช้อากาศที่เดินระบบจริงในปัจจุบันด้วย
 ประเภทของระบบและขนาดที่แตกต่างกันไปตาม

ปริมาณน้ำเสียและพื้นที่ของโรงงานแต่ละแห่ง ข้อมูล
 ขนาดของระบบที่ใช้ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศของโรงงาน
 เอทานอลจากกากน้ำตาล 6 แห่ง

กรณีศึกษา	ระบบบำบัด	ขนาดของระบบ
โรงงาน ก	CSTR	23,000 m ³
โรงงาน ข	CSTR ตั้งที่ 1	14,500 m ³
	CSTR ตั้งที่ 2	14,500 m ³
โรงงาน ค	ADI - BVF®	27,000 m ³
โรงงาน ง	บ่อ UASB	30,000 m ³
	MCL บ่อที่ 1	60,000 m ³
	MCL บ่อที่ 2	50,000 m ³
โรงงาน จ	MCL บ่อที่ 3	30,000 m ³
	MCL บ่อที่ 1	60,000 m ³
โรงงาน ฉ	MCL บ่อที่ 2	60,000 m ³
	ADI - BVF®	14,000 m ³

หมายเหตุ ระบบบำบัดของโรงงาน ข โรงงาน ง และ โรงงาน จ -
 เป็นการต่อแบบขนาน
 โรงงาน ฉ ปัดปรับปรุงระบบบำบัด
 คำย่อ: CSTR = Completely Stirred Tank Reactor
 ADI - BVF® = เครื่องหมายทางการค้าระบบบำบัด
 UASB = Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (แบบ บ่อ อ)
 MCL = Modified Covered Lagoon

สรุปได้ว่า ประเภทของระบบบำบัดไม่ใช้
 อากาศที่นิยมใช้งานในปัจจุบันมี 2 แบบ คือ 1)แบบถัง
 ปฏิกรณ์กวนผสมหมุน (CSTR) และ 2)แบบบ่อปิด
 (ได้แก่ ระบบ ADI - BVF®, ระบบ MCL และระบบ
 UASBแบบบ่อ) ซึ่งปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้ระบบดัง
 กล่าวคือ ค่าก่อสร้าง ลักษณะสมบัติน้ำเสียและพื้นที่
 โรงงานที่อำนวยความสะดวกติดตั้งระบบ

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเข้าระบบ

พารามิเตอร์ ที่ตรวจวัด	กรณีศึกษา					
	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ			ภาคกลาง		
	โรงงาน ก	โรงงาน ข	โรงงาน ค	โรงงาน ง	โรงงาน จ	โรงงาน ฉ ^[1]
pH	4.3	3.9	4.6	4.5	4.4	4.0
Temp (°C)	34	40	40	34	33	35
COD (mg/L)	103,200	159,000	108,500	168,700	149,000	120,000
BOD (mg/L)	33,130	55,000	34,400	57,500	42,500	-
SS (mg/L)	17,000	34,300	25,000	26,300	14,600	-
VSS (mg/L)	15,100	21,300	20,600	22,100	12,900	-
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	1,700	2,700	3,000	2,960	2,460	-
Cl ⁻ (mg/L)	3,750	5,500	3,500	2,550	4,750	-
K ⁺ (mg/L)	9,200	9,600	9,550	10,150	10,080	-

หมายเหตุ ^[1] โรงงาน ฉ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เนื่องจากปิดปรับปรุงระบบบำบัด

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเข้าระบบซึ่งเป็นน้ำตัวอย่างที่อยู่ในช่วงการเดินระบบในฤดูกาลผลิตเอทานอลยกเว้นโรงงาน ฉ ซึ่งได้หยุดซ่อมบำรุงระบบบำบัดและไม่มีการผลิตเอทานอล ทำการวิเคราะห์น้ำเข้าระบบตามวิธีการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2 จากผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเข้าระบบหาค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังนี้ ค่าพีเอช (pH) มีค่าต่ำโดยมีค่าเฉลี่ยคือ 4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจากสำ 36 องศาเซลเซียส ค่าซีโอดี (COD) เฉลี่ย 135,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าบีโอดี (BOD) เฉลี่ย 44,500 มิลลิกรัม/ลิตร เห็นได้ว่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์น้ำเข้าระบบสูงเหมาะกับการใช้ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศในการบำบัดสารอินทรีย์เพื่อลดค่าใช้จ่ายและพลังงาน โดยสำหรับความยากง่ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยระบบทางชีวภาพนั้นพิจารณาได้จากอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีของน้ำเข้าระบบซึ่งจากการวิเคราะห์มีค่าเฉลี่ยเพียง 0.33 บ่งบอกว่าน้ำเสียนั้นมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากอยู่มากกว่าครึ่ง โดยน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายควรมีค่าอัตราส่วนระหว่างบีโอดีต่อซีโอดีมากกว่า 0.5 (มันลิน, มั่นรักษ์, 2547)

ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) เฉลี่ย 23,440 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย (VSS) เฉลี่ย 18,400 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราส่วนของแข็งระเหยต่อของแข็งแขวนลอย (VSS/SS) ของน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ย 0.78 แสดงว่าตะกอนแขวนลอยในน้ำเข้าระบบมีปริมาณสารอินทรีย์ซึ่งย่อยสลายทางชีวภาพได้มากกว่าสารอนินทรีย์ซึ่งอาจเหลือสะสมในระบบ

ปริมาณซัลเฟต (SO₄²⁻) คลอไรด์ (Cl⁻) และโพแทสเซียม (K⁺) บ่งบอกถึงปริมาณสารพิษยับยั้งต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดไม่ใช้อากาศซึ่งจากการตรวจวัดพบว่ามีปริมาณค่าซัลเฟต (SO₄²⁻) เฉลี่ย 2,560 มิลลิกรัม/ลิตร, ค่าคลอไรด์ (Cl⁻) เฉลี่ย 4,010 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าโพแทสเซียม (K⁺) เฉลี่ย 9,720 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอยู่ในระดับที่อาจส่งผลก่อให้เกิดการยับยั้งต่อการทำงานของจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศ (Chen et al., 2008) จากผลการตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเข้าระบบและน้ำออกระบบนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัดในแต่ละพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์และสรุปแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สถานะการเดินระบบและประสิทธิภาพของระบบบำบัดไม่ใช้อากาศในแต่ละโรงงานที่ทำการศึกษา

กรณีศึกษา	ชนิดระบบบำบัดไม่ใช้อากาศ	อุณหภูมิ ภายในระบบ (°C)	ระยะเวลา กักน้ำ (วัน)	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (kgCOD/m ³ -day)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)		
					COD	BOD	SS
โรงงาน ก	ระบบ CSTR	38 – 40	20	2.7	59	68	35.8
โรงงาน ข	ระบบ CSTR ถึงที่ 1	35 – 40	24	4 – 5	53.5	72.7	30.9
	ระบบ CSTR ถึงที่ 2	35 – 40	24		48.5	68.2	23.3
โรงงาน ค	ระบบ ADI - BVF®	38 – 41	23	2.5	60.3	69.2	30
โรงงาน ง	ระบบ UASB	35 – 40	45	2.2 – 2.7	54.4	80.4	40.6
	ระบบ MCL บ่อที่ 1	35 – 40	40 – 45		54.4	82.6	42.6
	ระบบ MCL บ่อที่ 2	35 – 40	40 – 45		56.3	83	54.8
	ระบบ MCL บ่อที่ 3	35 – 40	40 – 45		50.5	78.3	29.7
โรงงาน จ	ระบบ MCL บ่อที่ 1	35 – 40	43	1.4 – 1.8	61.5	76.5	12.3
	ระบบ MCL บ่อที่ 2	35 – 40	43		59.3	73.5	26
โรงงาน ฉ	ระบบ ADI - BVF®	35 – 40	47	1.25 – 2.5	40 -60	-	-

หมายเหตุ โรงงาน ฉ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เนื่องจากปิดปรับปรุงระบบบำบัด

คำย่อ: CSTR = Completely Stirred Tank Reactor, ADI - BVF® = เครื่องหมายทางการค้าระบบบำบัด, UASB = Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (แบบบ่อ), MCL = Modified Covered Lagoon

จากข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบถังปฏิกรณ์กวนผสม (CSTR) มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ตั้งแต่ 2.7 ถึง 5 กิโลกรัมชีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน ภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศซึ่งไม่มีการควบคุมอุณหภูมิภายในระบบด้วยระยะเวลาการกักน้ำ 20 ถึง 24 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี (COD removal) ตั้งแต่ร้อยละ 49 ถึง 59 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี (BOD removal) ตั้งแต่ร้อยละ 68 ถึง 73 สอดคล้องกับการศึกษาของ Rajeshwari et al. (2000) แสดงว่าระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ดีพอสมควร เนื่องจากจากภาระบรรทุกสารอินทรีย์นั้นเป็นแบบอัตราต่ำและระยะเวลาการกักน้ำเฉลี่ยนานถึง 23 วัน

สำหรับระบบบำบัดไม่ใช้อากาศแบบบ่อปิด (UASB, ADI-BVF®, MCL) นั้น มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำที่ 1.25 ถึง 2.7 กิโลกรัมชีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน และมีระยะเวลาการกักน้ำยาวนานกว่าแบบถังปฏิกรณ์กวนผสมเกือบ 2 เท่าโดยมีระยะเวลาการ

กักน้ำที่ 23 ถึง 47 วัน ควบคุมภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศเช่นกัน มีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีตั้งแต่ร้อยละ 40 ถึง 62 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีตั้งแต่ร้อยละ 69 ถึง 83 สอดคล้องกับการศึกษาของ Mohana et al. (2009) แสดงว่าระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ดี เนื่องจากจากภาระบรรทุกสารอินทรีย์นั้นเป็นแบบอัตราต่ำมากและมีระยะเวลาการกักน้ำที่ยาวนาน

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศในโรงงานเอทานอลจากกากน้ำตาล 6 แห่งมีการใช้งานระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศแบ่งได้ 2 ประเภทคือ แบบถังปฏิกรณ์กวนผสมและแบบบ่อปิด ซึ่งทั้งสองประเภทมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ได้ใกล้เคียงกัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีร้อยละ 40 – 62 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีร้อยละ 68 – 83 ด้วยค่า

ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์แบบอัตราต่ำ โดยค่า
ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์ของระบบแบบถังปฏิกรณ์
กวนสมบูรณ์และแบบบ่อปิดเฉลี่ยที่ 3.9 และ 2.2
กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วันตามลำดับ การ
ศึกษาวิจัยในครั้งนี้ผลที่ได้เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทาง
ในการพิจารณาการเลือกใช้ระบบบำบัดแบบไม่ใช้
อากาศเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเอทานอลจาก
กากน้ำตาล

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ โรงงานเอทานอลจาก
กากน้ำตาลทั้ง 6 แห่งในประเทศไทยที่ให้ความ
อนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้
งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก
สถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประเทศญี่ปุ่น

เอกสารอ้างอิง

- ธนาคารแห่งประเทศไทย. 2557. รายงานสถานการณ์
เอทานอลประจำปี 2557 และแนวโน้มปี
2558. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 จาก
[https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/
NorthEastern/Doclib_CommodityYearly/Et
hanol_Yearly-2557_Trend2558.pdf](https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/Doclib_CommodityYearly/Ethanol_Yearly-2557_Trend2558.pdf)
- มันสิน ตันฑุลเวศม์, มั่นรักษ์ ตันฑุลเวศม์. เคมีวิทยา
ของน้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:
โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย;
2547.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวง
พลังงาน. 2555. โครงการส่งเสริมเทคโนโลยี
ก๊าซชีวภาพ. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2557
จาก<http://www.thaibiogas.com/index2.php>
- Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. 2008.
Inhibition of anaerobic digestion process: a
review. *Bioresource technology*, 99(10),
4044-4064.

- Mohana, S., Acharya, B. K., & Madamwar, D. 2009.
Distillery spent wash: Treatment
technologies and potential
applications. *Journal of Hazardous
Materials*, 163(1), 12-25.
- Rajeshwari, K. V., Balakrishnan, M., Kansal, A.,
Lata, K., & Kishore, V. V. N. 2000. State of
the art of anaerobic digestion technology for
industrial wastewater treatment. *Renewable
and Sustainable Energy Reviews*, 4(2),
135-156.
- Satyawali, Y., & Balakrishnan, M. 2008. Wastewater
treatment in molasses-based alcohol
distilleries for COD and color removal:
a review. *Journal of Environmental
Management*, 86(3), 481-497.
- Wilkie, A. C., Riedesel, K. J., & Owens, J. M. 2000.
Stillage characterization and anaerobic
treatment of ethanol stillage from
conventional and cellulosic
feedstocks. *Biomass and Bioenergy*, 19(2),
63-102.